



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 102 02 986 A 1

51 Int. Cl. 7:
G 01 R 33/385
G 01 R 33/421
A 61 B 5/055

21 Aktenzeichen: 102 02 986.5
22 Anmeldetag: 26. 1. 2002
43 Offenlegungstag: 31. 7. 2003

DE 102 02 986 A 1

71 Anmelder:
Philips Intellectual Property & Standards GmbH,
20099 Hamburg, DE

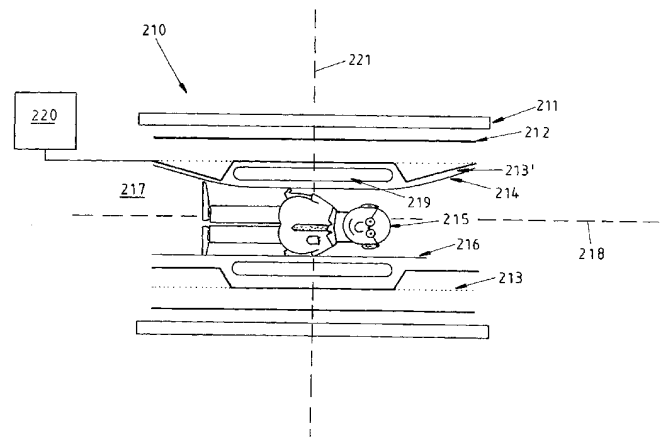
72 Erfinder:
Schulz, Volkmar, Dipl.-Ing., 22417 Hamburg, DE;
Gleich, Bernhard, Dipl.-Phys., 22335 Hamburg, DE;
Weizenecker, Jürgen, Dr., 22848 Norderstedt, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Spulensystem für eine MR-Apparatur sowie MR-Apparatur mit einem solchen Spulensystem

57 Ein Spulensystem (210) für eine nach der Methode der Kernspinresonanz bzw. Magnetresonanz (MR) arbeitende Apparatur umgibt einen sich entlang einer Achse (218) erstreckenden, für die Aufnahme eines Patienten (215) vorgesehenen Untersuchungsraum (217). Es umfasst eine innenliegende HF-Spule (219), eine die HF-Spule (219) außen umgebende und die HF-Spule (219) in axialer Richtung an beiden Seiten überragende, innere Teilspule (213') und eine die innere Teilspule (213') außen umgebende und zusammen mit der inneren Teilspule (213') eine Gradientenspulenordnung bildende aktive Abschirmung (212).

Bei einem solchen Spulensystem wird bei vorgegebenem Gradienten die für die Gradientenspulenordnung (213', 212) benötigte Energie dadurch verringert, dass das von der inneren Teilspule (213') eingenommene Volumen in den in axialer Richtung über die HF-Spule (219) hinausgehenden Bereichen zur Achse (218) hin erweitert ist. Wesentlich ist dabei, dass in dem Volumen, was von der Gradientenspulenordnung (213', 212) umschlossen wird, im Allgemeinen drei Gradientenspulen untergebracht werden. Diese geschichtete Anordnung erzeugt üblicherweise drei zueinander senkrecht stehende Gradientenfelder. Es ist allerdings nicht zwingend, sie so zu berechnen, dass sie aufeinander senkrecht stehen. Alle Spulenordnungen benötigen für sich einen geringeren Energieanteil im Vergleich zum herkömmlichen Fall.



DE 102 02 986 A 1

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Kerspinresonanz-Tomographie. Sie betrifft ein Spulensystem gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Sie betrifft weiterhin eine MR-Apparatur mit einem solchen Spulensystem.

[0002] Ein solches Spulensystem ist z. B. aus der EP-A1-0 304 126 bekannt.

STAND DER TECHNIK

[0003] Bildgebende Magnetresonanz(MR)-Verfahren (Magnetic Resonance Imaging MRI), welche die Wechselwirkung von Magnetfeldern mit Kernspins zur Erstellung von zweidimensionalen oder dreidimensionalen Bildern ausnutzen, haben insbesondere in der medizinischen Diagnostik eine verbreitete Anwendung gefunden, weil sie bei der Darstellung von Weichteilstrukturen anderen bildgebenden Verfahren in vielen Bereichen überlegen sind, ohne ionisierende Strahlung auskommen und in der Regel nicht invasiv sind.

[0004] Bei den MR-Verfahren wird der zu untersuchende Körper in ein starkes homogenes Magnetfeld gebracht, dessen Richtung zugleich eine Achse (üblicherweise die z-Achse) des der Messung zugrundeliegenden Koordinatensystems definiert. Durch das Magnetfeld werden für die einzelnen Kernspins in Abhängigkeit von der Magnetfeldstärke unterschiedliche energetische Niveaus erzeugt, die durch Einstrahlung eines elektromagnetischen Wechselfeldes definierter Frequenz (Larmor-Frequenz) angeregt werden können (Kernspinresonanz). Makroskopisch gesehen ergibt die Verteilung der einzelnen Kernspins eine Gesamtmagnetisierung, die durch einen eingestrahnten elektromagnetischen Puls entsprechender Frequenz (HF-Puls), bei dem das Magnetfeld senkrecht zur z-Achse steht, auf einer spiralförmigen Bahn aus der Gleichgewichtslage ausgelenkt werden kann und dann eine Präzessionsbewegung um die z-Achse ausführt. Die Präzessionsbewegung beschreibt einen Kegelmantel, dessen Öffnungswinkel als Flipwinkel bezeichnet wird. Die Größe des Flipwinkels hängt von der Stärke und Dauer des eingestrahnten elektromagnetischen Pulses ab. Bei einem sogenannten 90°-Puls werden die Spins aus der z-Achse in die Transversalebene geklappt (Flipwinkel 90°).

[0005] Nach dem Ende des HF-Pulses relaxiert die Magnetisierung wieder in die ursprüngliche Gleichgewichtslage zurück, wobei sich mit einer ersten Zeitkonstanten T_1 (Spin-Gitter-Relaxationszeit) die Magnetisierung in z-Richtung wieder aufbaut, und mit einer zweiten Zeitkonstanten T_2 (Spin-Spin-Relaxationszeit) die Magnetisierung senkrecht zur z-Richtung abbaut. Die Änderung in der Magnetisierung kann mit einer Spule detektiert werden, die üblicherweise so orientiert ist, dass die Änderung der Magnetisierung senkrecht zur z-Achse (Transversalmagnetisierung, Zeitkonstante T_2) gemessen wird. Mit dem Abbau der Transversalmagnetisierung verbunden ist nach Anlegung eines 90°-Pulses ein durch lokale Magnetfeldinhomogenitäten bewirkter Übergang der Kernspins von einem geordneten Zustand gleicher Phase in einen Gleichgewichtszustand, bei dem alle Phasenwinkel gleich verteilt sind (Dephasierung). Die Dephasierung kann durch einen Refokussierungspuls (180°-Puls) kompensiert werden. Hierdurch ergibt sich in der Detektionsspule ein Echosignal (Spinecho).

[0006] Um im Körper eine Ortsauflösung zu erhalten, werden dem homogenen Magnetfeld mittels einer drei Gradientenspulensysteme umfassenden Gradientenspulenan-

ordnung lineare Gradientenfelder in den drei Hauptachsen überlagert, die zu einer linearen Ortsabhängigkeit der Kerspinresonanzfrequenz führen. Das in der Detektionsspule aufgenommene Signal enthält dann Anteile verschiedener Frequenzen, die nach einer Fourier-Transformation von der Zeit- auf die Frequenzachse verschiedenen Orten im Körper zugeordnet werden können.

[0007] Das Spulensystem einer MR-Apparatur umfasst neben einer Spulenanordnung zur Erzeugung eines homogenen Gleichfeldes Spulenanordnungen zur Erzeugung der Gradientenfelder sowie eine Spulenanordnung zur Erzeugung eines (gepulsten) HF-Feldes. Ein beispielhaftes Spulensystem ist in **Fig. 9** und **10** der US-A-6,154,110 dargestellt. Innerhalb einer supraleitenden Hauptspule ist coaxial eine Gradientenspulenanordnung zur Erzeugung der Gradientenfelder untergebracht, welche aus einer (äußeren) Abschirmspule und einer (inneren) Teilspule besteht. Von einem vergleichbaren bekannten Spulensystem geht auch die vorliegende Erfindung aus, wie dies aus **Fig. 2** zu erkennen ist: Das bekannte Spulensystem **210** ist entlang einer Achse **218** orientiert und umgibt einen Untersuchungsraum **217**, in den ein zu untersuchender Patient **215** mittels einer in Achsenrichtung verfahrbaren, an der Unterseite des Untersuchungsraumes **217** platzierten Patiententisch **216** eingeschoben werden kann. Das den Untersuchungsraum **217** umschließende Spulensystem **210** umfasst (von innen nach außen gesehen) eine HF-Spule **219**, eine aktiv geschirmte Gradientenspulenanordnung, bestehend aus einer inneren Teilspule (**213**, in der **Fig. 2** im Unterschied zu der erfindungsgemäßen inneren Teilspule **213'** punktiert gezeichnet) und einer aktiv schirmenden Spule oder Abschirmung (**212**), und einen Kryostaten **211**, in welchem die Spule zur Erzeugung des homogenen statischen Magnetfeldes untergebracht ist. Die Gradientenspulenanordnung **213**, **212** wird von einem Gradientenverstärker **220** angesteuert.

[0008] Derartige Gradientenverstärker sind heutzutage eine der teuersten Komponenten einer MR-Apparatur. Es ist deshalb wünschenswert, in der MR-Apparatur Gradientenspulensysteme einzusetzen, die einen möglichst geringen Energiebedarf aufweisen. In der eingangs genannten EP-A1-0 304 126 ist zur Verringerung des Energieeinsatzes für die Gradientenspulensysteme vorgeschlagen worden, spezielle Kompensationsspulen einzusetzen, welche die unerwünschten Streufelder und Wirbelströme der Gradientenspulensysteme schwächen bzw. unterdrücken.

[0009] Weiterhin wird in der EP-A1-0 307 981 vorgeschlagen, zur Verringerung der für die Gradientenspule und die HF-Spule benötigten Energie ein kombiniertes HF- und Gradientenspulensystem einzusetzen, welches es ermöglicht, den freien inneren Durchmesser des Spulensystems zu verkleinern.

[0010] In beiden Fällen ist die Anpassung des Spulensystems an einen verringerten Energieverbrauch für die Gradientenspulensysteme vergleichsweise aufwendig und kompliziert.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0011] Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Spulensystem sowie eine MR-Apparatur mit einem solchen Spulensystem anzugeben, welche sich auf einfache Weise durch eine hinsichtlich des Energieverbrauchs optimierte Geometrie auszeichnen.

[0012] Die Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 bzw. des Anspruchs 6 gelöst.

[0013] Die Erfindung geht davon aus, dass es für die im Gradientenfeld vorhandene Feldenergie günstig ist, so viel Volumen wie möglich zwischen der inneren Teilspule und ihrer aktiven Abschirmung zu haben, ohne gleichzeitig das

Volumen für die RF-Spule zu verkleinern und den Untersuchungsraum für zu untersuchende Patienten zu verringern. Der Kern der Erfindung besteht nun darin, mit der inneren Teilsple den ungenutzten Raum außerhalb der innenliegenden HF-Spule, innerhalb der Abdeckung auszunutzen.

[0014] Hierzu wird ein Spulensystem der eingangs genannten Art vorgeschlagen, das erfindungsgemäß so ausgestaltet ist, dass zur Verringerung der für das Gradientenspulensystem benötigten Energie das von der inneren Teilsple eingenommene Volumen in den in axialer Richtung über die HF-Spule hinausgehenden Bereichen zur Achse hin erweitert wird.

[0015] Die Ausgestaltung gemäß Anspruch 2 hat den Vorteil, dass der unterhalb der Tischplatte des Patiententisches zur Verfügung stehende Raum für die Teilsple optimal genutzt wird.

[0016] Eine andere bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung nach Anspruch 3 zeichnet sich dadurch aus, dass für die Teilsple mehr Volumen zur Verfügung gestellt wird, ohne dass die Offenheit des Untersuchungsraumes zu beiden Seiten beeinträchtigt wird.

[0017] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0018] Erfindungsgemäß wird das Spulensystem nach der Erfindung in einer bildergezeugenden MR-Apparatur angewendet.

[0019] Weitere Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0020] Eine MR-Apparatur mit einem Spulensystem zur Erzeugung eines homogenen stationären Magnetfeldes, dessen Stärke die Larmorfrequenz definiert, und zur Erzeugung von HF-Pulsen und zum Empfangen von den einem Untersuchungsobjekt erzeugten MR-Signalen ist erfindungsgemäß so ausgebildet, dass ein Spulensystem für eine nach der Methode der Kernspinresonanz bzw. Magnetresonanz arbeitende Apparatur, welches Spulensysteme einen sich entlang einer Achse erstreckenden, für die Aufnahme eines Patienten vorgesehenen Untersuchungsraum umgibt und eine innenliegende HF-Spule, eine die HF-Spule außen umgebende und die HF-Spule in axialer Richtung an beiden Seiten überragende, innere Teilsple und eine die innere Teilsple außen umgebende aktive Abschirmung umfasst, so vorgesehen ist, dass zur Verringerung der für das Gradientenspulensystem benötigten Energie das von der inneren Teilsple eingenommene Volumen in den in axialer Richtung über die HF-Spule hinausgehenden Bereichen zur Achse hin erweitert ist.

KURZE ERLÄUTERUNG DER FIGUR

[0021] Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigen

[0022] Fig. 1 ein Prinzipschaltbild einer MR-Apparatur, in welcher das erfindungsgemäße Spulensystem Anwendung finden kann; und

[0023] Fig. 2 in einer einzigen schematisierten Längsschnittdarstellung ein Spulensystem nach dem Stand der Technik (punktiert gezeichnete innere Teilsple) sowie ein Ausführungsbeispiel eines Spulensystems nach der Erfindung (durchgezogen gezeichnete innere Teilsple).

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0024] Eine für den Einsatz des erfindungsgemäßen Spulensystems geeignete MR-Apparatur ist im Prinzipschaltbild in Fig. 1 dargestellt. Sie umfasst eine Steuereinheit 17, die einen Gradienten-Wellenform-Generator 20 ansteuert,

an dessen Ausgängen jeweils ein erster, ein zweiter und ein dritter Gradientenverstärker 21, 22, 23 angeschlossen ist. Diese Verstärker erzeugen jeweils den Strom für eine erste, zweite bzw. dritte Gradientensple 3, 5, 7. Die Verstärkungsfaktoren dieser Verstärker sind durch die Steuereinheit 17 über Leitungen 32 unabhängig voneinander einstellbar, so dass die Gradientenspulen 3, 5, 7 die Gradientenfelder in den x-, y- und z-Richtungen erzeugen und eine Schichtselektion in den entsprechenden drei Raumrichtungen in dem untersuchten Bereich vorgenommen werden kann.

[0025] Weiterhin wird durch die Steuereinheit 17 ein HF-Generator 18 angesteuert, um zur MR-Bilderzeugung die Frequenz der HF-Impulse auf die von den Gradientenfeldern abhängigen Larmor-Frequenzen. Die HF-Impulse werden einem Verstärker 19 zugeführt, dessen Verstärkung durch die Steuereinheit 17 gesteuert wird, und gelangen anschließend zu einer HF-Sendesple 11.

[0026] Die in einer Hochfrequenz-Empfangssple 12 durch die Relaxation der angeregten Magnetisierungszustände induzierten MR-Signale werden in einem Quadratur-Demodulator 13 durch Mischung mit zwei um 90° gegeneinander versetzten Trägerschwingungen (mit einer durch die lokale Stärke der stationären Magnetfelder bestimmten Larmor- bzw. MR-Frequenz) eines Oszillators 130 demoduliert, so dass zwei Signale entstehen, die als Realteil und als Imaginärteil eines komplexen Signals aufgefasst werden können. Diese Signale werden einem Analog-Digitalwandler 14 zugeführt. Mit einer Bildverarbeitungseinheit 16 werden schließlich die MR-Bilder in bekannter Weise rekonstruiert und auf einem Monitor 15 wiedergegeben.

[0027] Bei dem in der Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel eines in der MR-Apparatur nach Fig. 1 einsetzbaren Spulensystems nach der Erfindung wird die punktiert gezeichnete innere Teilsple 213 der aus innerer Teilsple 213 und aktiver Abschirmung 212 bestehenden Gradientenspulenordnung nach dem Stand der Technik durch die durchgezogene gezeichnete innere Teilsple 213' ersetzt. Die neuartige innere Teilsple 213' nutzt dabei bisher ungenutzte Volumina. Diese ungenutzten Volumina befinden sich unterhalb der Patiententisches 216 und oberhalb einer das Spulensystem 210 vom Untersuchungsraum 217 trennenden Abdeckung 214 in den in axialer Richtung außerhalb der HF-Sple 219 liegenden Bereichen. In diesen Bereichen wird die innere Begrenzung der inneren Teilsple 213' zur Achse 218 hin verschoben, so dass sie auf der Unterseite parallel zur Achse 218 und auf der Oberseite parallel zur Abdeckung 214 verläuft. Das Spulensystem 210 und insbesondere die innere Teilsple 213' sind dabei symmetrisch zu einer Mittelebene 221, wodurch sich die Feldverhältnisse vereinfachen. Dabei entspricht die Wirkungsweise und Konfiguration der HF-Sple 219 in Fig. 2 der HF-Sple 11 in Fig. 1 und die Komponenten 213' in Verbindung mit der Abschirmung 212 in Fig. 2 den Gradientenspulen 3, 5 oder 7 in Fig. 1.

[0028] Der Abstand der inneren Teilsple 213' zur Achse 218 ist in den in axialer Richtung über die HF-Sple 219 hinausgehenden Bereichen größer oder gleich dem Abstand der HF-Sple 219 zur Achse 218, so dass der für den Patienten 215 zur Verfügung stehende Untersuchungsraum 217 ausschließlich durch die HF-Sple bestimmt wird und sich durch die neuartige innere Teilsple 213' nicht verkleinert. [0029] Die Windungsverteilung des Gradientenspulensystems/der Gradientenspulenordnung kann nach einem numerischen Verfahren (S. Pissanetzky Meas. Sci. Technol. 3 (1992) p. 667ff) berechnet werden. Gegenüber einem herkömmlichen Standardsystem ergibt sich damit eine Reduktion der Spulenenergie um etwa 35%.

[0030] Insgesamt ergibt sich mit der Erfindung ein Spu-

lensystem, welches sich durch folgende charakteristischen Merkmale und Vorteile auszeichnet:

- Geringerer Energieverbrauch, der die Kosten für die Gradientenverstärker reduziert.
- Mit einem unveränderten Gradientenverstärker kann ein höherer Gradient erzeugt werden.

[0031] Der für den Patienten zur Verfügung stehende Untersuchungsraum wird nicht verkleinert.

BEZUGSZEICHENLISTE

3, 5, 7	Gradientenspule	
11	Hochfrequenz-Sendespule	
12	Hochfrequenz-Empfangsspule	15
13	Quadratur-Demodulator	
14	Analog-Digitalwandler	
15	Monitor	
16	Bildverarbeitungseinheit	
17	Steuereinheit	20
18	HF-Generator	
19	Verstärker	
20	Gradienten-Wellenform-Generator	
21, 22, 23	Gradientenverstärker	25
210	Spulensystem	
211	Kryostat	
212	aktive Abschirmung	
213, 213'	innere Teilschule	
214	Abdeckung	30
215	Patient	
216	Patiententisch	
217	Untersuchungsraum	
218	z-Achse (Richtung des stat. Magnetfeldes)	
219	HF-Schule	35
220	Gradientenverstärker	
221	Symmetrieebene	

Patentansprüche

1. Spulensystem (210) für eine nach der Methode der Kernspinresonanz bzw. Magnetresonanz (MR) arbeitende Apparatur, welches Spulensystem (210) einen sich entlang einer Achse (218) erstreckenden, für die Aufnahme eines Patienten (215) vorgesehenen Untersuchungsraum (217) umgibt und eine innenliegende HF-Schule (219), eine die HF-Schule (219) außen umgebende und die HF-Schule (219) in axialer Richtung an beiden Seiten überragende, innere Teilschule (213') und eine die innere Teilschule (213') außen umgebende und zusammen mit der inneren Teilschule (213') eine Gradientenspulenordnung bildende aktive Abschirmung (212) umfasst, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Verringerung der für das Gradientenspulensystem (213', 212) benötigten Energie das zwischen der inneren Teilschule (213') und der aktiven Abschirmung (212) befindliche Volumen dadurch vergrößert ist, daß der zur Achse (218) senkrechte Querschnitt der inneren Teilschule (213') in Bereichen beiderseits der HF-Schule (219) kleiner ist als im Bereich der HF-Schule.
2. Spulensystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Einführung eines Patienten (215) in den Untersuchungsraum (217) an der Unterseite des Untersuchungsraumes (217) eine entlang der Achse (218) verschiebbare Patiententisch (216) vorgesehen ist, und dass die innere Begrenzung der inneren Teilschule (213') in den in axialer Richtung über die HF-Schule (219) hinausgehenden Bereichen vorzugsweise

parallel zur Achse (218) verläuft.

3. Spulensystem nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Spulensystem auf der Oberseite des Untersuchungsraumes (217) durch eine Abdeckung (214) vom Untersuchungsraum (217) getrennt ist, die sich in den in axialer Richtung über die HF-Schule (219) hinausgehenden Bereichen nach außen hin öffnet, und dass die innere Begrenzung der inneren Teilschule (213') in den in axialer Richtung über die HF-Schule (219) hinausgehenden Bereichen parallel zur Abdeckung verläuft.

4. Spulensystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand der inneren Teilschule (213') zur Achse (218) in den in axialer Richtung über die HF-Schule (219) hinausgehenden Bereichen größer oder gleich dem Abstand der HF-Schule (219) zur Achse (218) ist.

5. Spulensystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die innere Teilschule (213') symmetrisch zu einer senkrecht zur Achse (218) stehenden Mittelebene (221) ist.

6. MR-Apparatur mit einem Spulensystem (210) zur Erzeugung eines homogenen stationären Magnetfeldes, dessen Stärke die Larmorfrequenz definiert, und zur Erzeugung von HF-Pulsen und zum Empfangen von in einem Untersuchungsobjekt (215) erzeugten MR-Signalen, dadurch gekennzeichnet, dass das Spulensystem (210) gemäss Anspruch 1 ausgebildet ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

Fig.1

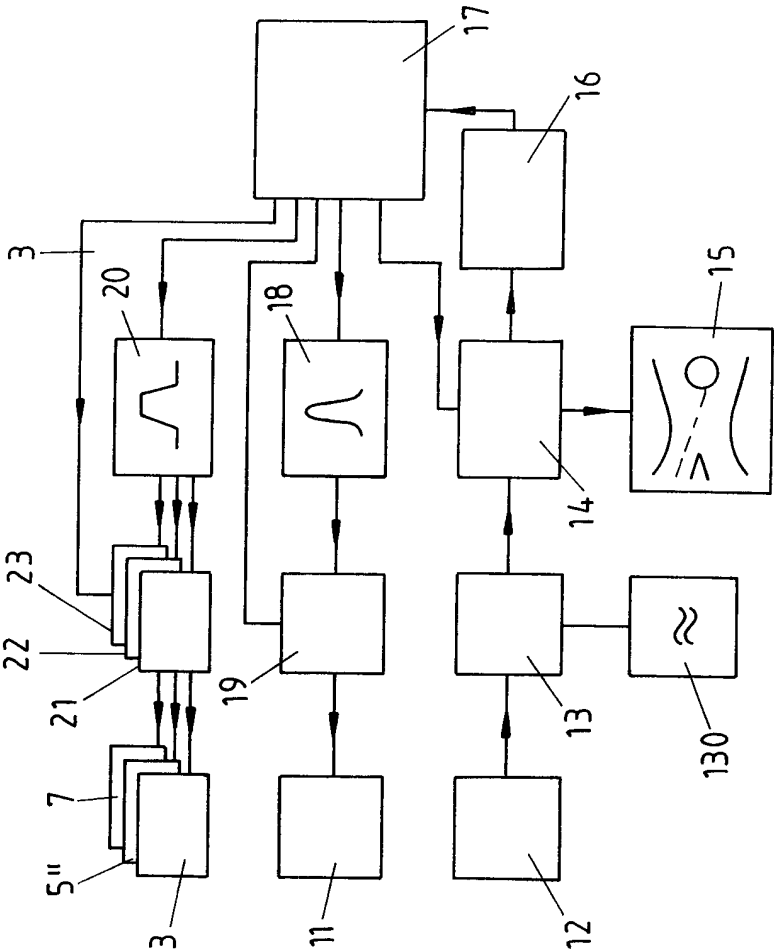


Fig.2

